

생분해성 고분자의 분해성 측정 및 평가방법

신 평 균

1. 서 론

최근 정부에서는 매장 규모가 10평 이상인 집포들이 소비자들이 물건을 구입할 때 제공하던 1회용 플라스틱 쇼핑백이나 1회용 플라스틱 도시락의 사용을 규제하는 법안을 제정하여 시행에 들어갔다. 이는 그 동안 이러한 제품을 생산하는 업체들뿐만 아니라 이들 1회용품을 사용하던 업계에 커다란 파장을 몰고 왔다. 관련 업계의 반발에도 불구하고 이 법을 정착시키고자 하는 정부의 의지는 단호해 보인다. 사실, 이 법의 제정단계부터 관련 플라스틱 업계에서는 이 법이 몰고 올 여러 가지 부작용을 제시하며 이 법의 제정을 반대하였지만 1회용 플라스틱 포장재에 관한 구미 각국의 움직임은 고려하면 이 법의 시행을 무작정 반대만 할 수도 없는 것이 현실이다. 이제부터라도 이 법의 미비점을 보완하며 이 법의 시행 취지인 플라스틱 포장재에 의한 환경문제를 줄이기 위한 노력이 시급히 경주되어야 할 것이다.

생분해성 플라스틱은 약 10여년 전부터 플라스틱 폐기물에 의한 환경오염을 저감할 수 있는 환경 친화성 제품으로 각광을 받으면서 여러가지 재질과 물성의 생분해성 플라스틱이 개발되어 상품화되어 왔다. 그러나 현재까지도 생분해성 플라스틱의 가격이 범용 플라스틱보다 비싸고 그 용도가 매우 제한적이어서 처음의 기대에 부응하지 못하고 있으며 그 결과로 생분해성 플라스틱 산업 자체가 아주 미미한 상태이지만 제조 원가를 낮추고자 하는 노력이 지속되고 값싼 새로운 재질을 개발하려는 연구가 활발히 진행 중이므로 생분해성 플라스틱에 의한 범용 플라

스틱의 대체 범위는 점차 늘어날 전망이다. 한편 새로운 용도를 개발하는 연구도 활발하여 1998년 일본의 나가노에서 열린 동계올림픽에서는 모든 1회용품을 생분해성 수지로 제조하여 큰 주목을 받기도 했다. 최근에도 스포츠 의류를 생분해성 섬유로 제조하는 회사가 등장하는 등 생분해성 플라스틱의 용도를 확대하고자 하는 노력도 활발하다. 국내에서는 생분해성 수지가 30% 정도 포함된 매립용 종량제 쓰레기 봉투의 사용에 관한 시범사업이 98년부터 진행되고 있고 시범사업이 성공적인 것으로 판명날 경우, 생분해성 수지가 포함된 매립용 종량제 쓰레기 봉투의 사용이 현실화될 전망이다. 이렇게 될 경우, 그동안 뚜렷한 수요가 없어 고전하던 생분해성 플라스틱 산업은 미약하나마 다소의 숨통이 트일 것이며 한동안 지지부진했던 연구개발도 다시금 힘을 얻게 될 것으로 기대된다.

새로운 생분해성 플라스틱 물질을 개발하고 또한 이들의 적정 용도를 개발하기 위해서는 이들 분해성 플라스틱들의 생분해도를 측정하여 생분해성을 평가



신평균

- 1985 서울대 화공과
- 1990 미국 Purdue대 화공과(박사)
- 1991 미국 Princeton대 화공과 (Post-doc.)
- 1992~ KIST 수질환경연구센터 책임
- 현재 연구원

Test and Evaluation Methods of Degradability for Biodegradable Polymers

한국과학기술연구원 수질환경연구센터 (Pyong Kyun Shin, KIST, Water Environment Research Center, 39-1, Hawolgok-Dong, Sungbuk-Gu, Seoul 136-791, Korea)

할 수 있는 방법의 확립이 필요하다. 또한 생분해성에 대한 정확하고 객관적인 평가는 환경 친화성 제품에 관한 정부의 감독과 규제에도 크게 기여할 것이다. 이러한 배경에서 각국에서는 생분해성 고분자의 분해성 평가 방법 및 규격의 개발에 힘을 기울이고 있다.¹ 우리 나라에서도 지난 6여년간 생분해도 측정 및 평가방법에 관한 연구를 수행하여 왔으며 그 결과로 최근에 약 8개의 규격안이 제시되었다.² 본고에서는 최근에 제시된 우리 나라의 규격안을 중심으로 생분해성 플라스틱의 분해성 측정 및 평가방법을 살펴보고자 한다.

2. 플라스틱 생분해의 정의

플라스틱의 생분해는 미생물이 분비하는 효소의 작용으로 플라스틱 물질이 붕괴되고 저분자화된 후 (1차분해) 미생물이 이들 저분자를 흡수하여 대사 작용을 한 후 최종적으로 미생물 균체와 이산화탄소, 메탄가스 등을 생성하는(최종 분해) 전과정으로 구성된다(그림 1). 이 중에서 플라스틱의 생분해는 최종분해까지 진행된 정도를 생분해로 인정하려 하고 있다. 미국의 경우, ASTM(American Society for Testing and Materials)에서 발표한 분해성 플라스틱과 생분해성 플라스틱에 관한 용어의 정의는 다음과 같다.³

- 분해성 플라스틱 : 일정기간 동안 특정 환경조건에서 화학구조가 상당히 변화되어 표준 시험방법으로 측정이 가능한 성질의 손실을 가져오도록 고안된 플라스틱
- 생분해성 플라스틱 : 박테리아, 곰팡이, 조류와

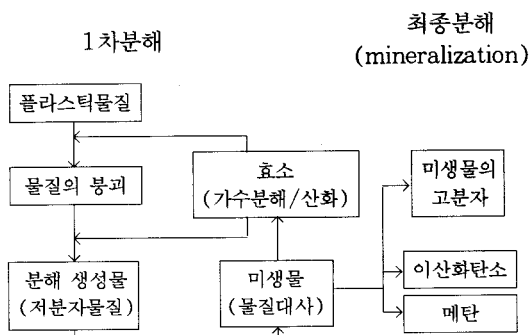


그림 1. Schematics of biodegradation procedure of plastics.

같은 천연 미생물의 작용으로 분해가 일어난 분해성 플라스틱

이 정의를 보면 생분해성에 대한 정의가 다소 모호할 수도 있으나 실제로 ASTM에서 제시하는 표준 시험방법은 앞에서 말한 이산화탄소, 메탄가스의 발생량을 측정하여 생분해 정도를 측정하게 되어 있으므로 결국은 위의 전과정을 반영한 것으로 생각할 수 있다. 미국의 경우 뿐만 아니라 국제표준기구인 ISO(International Standard Organization)에서 마련중인 규격의 초안도 표현은 다소 다르지만 역시 최종 분해를 생분해로 규정하고 있다.¹

3. 생분해도 측정방법

미국이나 ISO의 생분해도 측정 방법의 규격 동향을 보면 방법들의 성격상 실험실, 현장 모사, 현장으로 구분할 수 있다(표 1). 실험실 시험법으로는 효소시험법, Clear-zone 시험법, 수용액에서 미생물에 의한 시험법(호기적 조건, 혐기적 조건), 실험실 퇴비화 시험법이 있는데 이들의 특징은 시험 조건이 잘 정의되어 있어 재현성이 있고 정량적인 결과를 얻을 수 있으며 시험 기간이 짧으나 실제 자연환경을 반영하지는 못한다. 따라서 실험실 시험은 주로 시료의 최종 생분해도(mineralization)를 측정하기 위해 실시된다. 반면에 현장 시험은 플라스틱이 도달할 수 있는 최종 자연환경에서 직접 실시하므로 실제 자연환경에서의 생분해도를 측정할 수 있지만 정량성이나 재현성이 떨어지는 한계가 있다. 또한 측정기간도 오래 걸린다. 그러므로 현장 실험에서는 최종 생분해도를 측정하기 보다 생분괴성을 주로 측정한다. 현장 모사 시험법으로는 토양 매립, 수용액(담수, 해수), 모의 매립지 매립, 퇴비화, 혐기적 소화법 등이 있는데 특히 직접 현장 적용시험이 어려운 경우(예를 들어 매립지 환경)에 실험실에서 자연환경을 모사하여 시험을 진행하므로 실험실 시험의 한계를 보완하고 실제 환경에 노출시키는 번거로움을 줄여주는 특징이 있다.

외국에서 개발되고 있는 생분해도 측정 및 평가방법에 대하여는 다른 논문에서 상세하게 다루었으므로¹ 여기에서는 본 연구실에서 제안한 우리 나라의 측정방법에 관해서만 언급하도록 하겠다. 이번에 본 연구실에서 제안한 생분해성 측정과 평가방법은 플라스틱 폐기물이 최종적으로 도달할 수 있는 자연환

표 1. Biodegradation Test Methods at Each Test Stage and ASTM Standards of US¹

Test Stage	Laboratory Test Systems	Simulation Tests	Field Tests
Test Method	- Enzyme assay - Clear-zone test - Aqueous test(D5209, 5210, 5271, 5247) - BMP test(D5210) - Compost Test(D5338)	- Soil - Water(sea, fresh) - Landfill(D5525, 5526) - Compost(D5929, 5512, 5509) - Anaerobic Digestion(Biogasification) (D5511)	- Soil - Water(sea, fresh) (D5437, marine) - Landfill - Compost - Anaerobic Digestion(Biogasification)

표 2. Biodegradation Test Methods Suggested for Korean Standards

규격명	규격의 특징	인용 외국 규격
수용액상에서 플라스틱의 호기적 조건에서 '궁극적' 생분해도 평가법	실험실 생분해도 시험법	ISO/FDIS 14852 ⁴ , ASTM D5209 ⁵
수용액상에서 플라스틱의 혐기적 조건에서 '궁극적' 생분해도 평가법	"	ISO/CD 14853, ⁶ ASTM D5210 ⁷
조절된 퇴비화 조건에서 플라스틱의 '궁극적' 생분해도 평가법	"	ISO/FDIS 14855, ⁸ ASTM D5338 ⁹
토양에서 플라스틱의 '궁극적' 호기적 생분해도 평가법	"	ISO/WI 718 ¹⁰
가속화 매립 조건에서 플라스틱의 혐기적 생분해도 평가법	"	ASTM D5526 ¹¹
모사 퇴비화 조건에서 플라스틱의 붕괴도 평가법	모사 환경시험법	ISO WI 708, ¹² ASTM 5509 ¹³
모의 매립 조건에서 플라스틱의 붕괴도 평가법	"	ASTM 5525 ¹⁴
퇴비화용, 매립지 매립용, 토양 매립용 생분해성 플라스틱의 평가법	생분해도 평가	ISO/CD 15986 ¹⁵

경 중에서 특히 퇴비화, 토양, 매립지 환경에서의 생분해도를 측정하고 평가하기 위한 것들이다. 이러한 환경에서의 생분해도 측정을 위해 외국에서 이미 발표되었거나 규격화 과정중의 안들을 기준으로 하여 우리 나라에서 적용할 수 있도록 다소 변형한 실험실 시험, 모의 환경 시험법에 관해 8개의 규격을 제안하였다(표 2). 이들 방법들은 인용된 외국의 규격과 전체적인 골격에서는 큰 차이가 없지만 세부적인 사항에서 약간의 차이가 있다. 특히 외국의 현실과 달리 우리 나라의 경우에는 유기성 도시 고형폐기물을 처리하는 퇴비화 공장이나 혐기성 소화공장이 없어 이곳에서 생산되는 퇴비나 소화 슬러지를 미생물 접종원으로 사용하는 시험법의 경우 실험실에서 유사한 원료로 퇴비나 소화 슬러지를 생산하여 사용할 수 있도록 하였다. 또한 측정 방법을 선정하는데 있어서도 일반 실험실에서 손쉽게 실시할 수 있으며 고가의 장비가 필요하지 않는 측정법을 우선적으로 선정하였다. 예를 들어 호기적 조건에서 생분해도를 측정하는 경우, 산소 소모량이나 이산화탄소 발생량을 측정하는 방법들이 외국에서는 발표되어 있는데 산소 소모량을 측정하기 위해서는 respirometer라는 고가의 측정 장비가 필요하고 이 장비가 우리 나라에

많이 보급되지 않은 상태이므로 각 실험실에서 손쉽게 측정할 수 있는 이산화탄소 발생량을 측정하는 방법을 선정하였다. 그러나 장래에는 산소 소모량을 측정하는 시험법도 규격에 포함될 것으로 기대된다.

4. 우리나라의 시험 및 평가 규격안

4.1 수용액상에서 플라스틱의 호기적 조건에서 '궁극적' 생분해도 평가법 - 발생된 이산화탄소 분석에 의한 방법

1) 인용규격

ISO FDIS 14852 수용액 상에서 플라스틱 물질의 '궁극적' 호기적 생분해도 평가법-발생된 이산화탄소 분석에 의한 방법⁴

ASTM D 5209-92 도시하수 슬러지 존재하에서 플라스틱 물질의 호기적 생분해도를 결정하는 표준 시험방법⁵

2) 개요

- 수용액상에서 플라스틱 시료를 유일한 탄소원으로 하는 조건에서 호기적 미생물에 의해 시료가 생분해될 때 발생하는 CO₂를 정량하여 생분해

도를 측정하는 방법

- 플라스틱 시료의 수용액 배지중의 농도는 100-2000 mg/L이며 미생물원은 활성슬러지, 활성이 좋은 토양이나 퇴비의 추출물을 사용
- 시료의 형태 : 제한 없음(분말, films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 시험온도 : 20~25 ± 1 °C, 또는 미생물원이나 대상 환경에 따른 적절한 온도
- 시험기간 : 생분해가 더 이상 진행되지 않는 때까지(최대 3개월 이내)
- 생분해도 측정 : 발생하는 CO₂의 정량
- CO₂의 정량 : 알카리 수용액(Ba(OH)₂)을 이용하여 포집 후 적정에 의해 정량

4.2 조절된 퇴비화 조건에서 플라스틱의 '궁극적' 생분해도 평가법 - 발생된 이산화탄소 분석에 의한 방법

1) 인용규격

ISO FDIS 14855 조절된 퇴비화 조건에서 플라스틱의 '궁극적' 호기적 생분해도 평가법-발생된 이산화탄소 분석에 의한 방법⁸

ASTM D 5338-92 조절된 퇴비화 조건에서 플라스틱 시료의 호기적 생분해도를 결정하는 표준 시험방법⁹

2) 개요

- 실제 퇴비화 과정을 최대한 모사한 시험방법으로 조절된 퇴비화 조건에서 시료의 궁극적 생분해도를 결정하도록 고안됨.
- 미생물원으로는 도시 고품폐기물의 유기성분을 퇴비화한 안정되고 숙성된 퇴비를 사용하며 시료를 퇴비와 잘 혼합하여 온도, 산소량, 함수율 등이 최적으로 조절된 퇴비화 반응기에서 퇴비화를 진행함.
- 퇴비 : 도시 고품폐기물의 유기성분이나 음식물쓰레기를 주원료로 고품질의 퇴비를 생산하고 있는 퇴비화 공장의 퇴비로 생산된지 1-2개월 이내의 것을 사용, 또는 실험실에서 같은 원료로 공기 공급이 잘 되는 호기적 조건에서 퇴비화를 진행시켜 얻은 충분히 숙성된 퇴비.
- 시료가 호기적으로 생분해 될 때 이산화탄소, 물, 무기염류 및 새로운 바이오매스가 궁극적으로 생성되며 시료가 포함된 반응기와 시료가 포함되지 않은 퇴비만의 반응기에서 생성되는 이산화탄소를 연속적으로 관찰하거나 일정 간격에 측정하여 누적된 이산화탄소 발생량으로 생분해

도를 결정함.

- 시료의 양 : 퇴비의 5~15% (습량기준)
- 시료의 형태 : 제한 없음(분말, films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 배양 : 함수율(45-50%)로 조절한 후 공기를 공급하며 시험온도 55~58 °C에서 배양
- 시험기간 : 45일(생분해가 지속될 때는 연장 가능)
- 생분해도 측정 : 발생하는 CO₂의 정량
- CO₂의 정량 :
 - GC 또는 IR을 이용한 직접 측정법
 - 알카리 수용액을 이용하여 포집 후 적정에 의해 정량

4.3 수용액상에서 플라스틱의 "궁극적" 혐기적 생분해도 평가법 - 탄소의 이산화탄소와 메탄으로의 전환 분석을 통해

1) 인용규격

ISO CD 14853 수용액상에서 플라스틱의 "궁극적" 혐기적 생분해도 평가법-탄소의 이산화탄소와 메탄으로의 전환 분석을 통해⁶

ASTM D 5210-92 도시하수 슬러지에 의해 플라스틱 시료의 혐기적 생분해도를 결정하는 표준 시험방법⁷

2) 개요

- 수용액상에서 혐기적 미생물에 의해 플라스틱 물질의 생분해도를 결정하는 것으로 무기물 배지에 플라스틱 시료를 유일한 탄소 및 에너지원으로 공급하고 시험을 실시함.
- 플라스틱 시료의 수용액 배지중의 농도는 100-2000 mg/L이며 미생물원은 하수처리장 소화조 슬러지를 사용함.
- 배지 혼합물은 공기가 없는 상태에서 교반하지 않고 배양하며 발생하는 이산화탄소와 메탄 가스를 포집하여 생분해도를 결정함.
- 시험기간은 생분해 양상에 따라 결정함.
- 시료의 형태 : 제한 없음(분말, films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 시험온도 : 30~35(±1) °C
- 시험기간 : 가스가 더 이상 발생되지 않는 때까지

4.4 토양에서 플라스틱의 '궁극적' 호기적 생분해도 평가법 - 발생된 이산화탄소 분석에 의한 방법

1) 인용규격

ISO WI 718 토양에서 플라스틱의 '궁극적' 호기적 생분해도 평가법-밀폐된 respirometer에서 산소

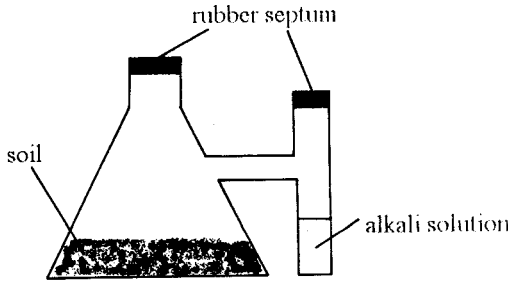


그림 2. Soil culture flask with side arm for alkali solution.

요구량이나 이산화탄소 측정에 의한 방법¹⁰

2) 개요

- 이 시험방법은 토양에서 플라스틱 물질의 생분해도를 결정하는 것으로 토양의 습도를 조절하여 최적의 생분해 속도를 얻도록 고안됨.
- 플라스틱 시료를 유일한 탄소 및 에너지원으로 선택된 토양과 혼합하여 시험을 실시하며 혼합물을 시험 플라스크에 넣고 정치된 상태에서 일정기간 동안 배양하면서 발생하는 이산화탄소를 정량하여 생분해도를 측정(그림 2).
- 이산화탄소가 포함되지 않은 공기를 토양의 상층부로 흘려주면서 배출가스중의 발생된 이산화탄소의 양은 분해속도에 따라 일정간격으로 결정.
- 생분해 정도는 발생된 이산화탄소 총량과 이론적 이산화탄소 발생량(ThCO_2)을 비교하여 백분율로 표시한다. 시험기간은 생분해 양상에 따라 결정하나 최대 6개월 이내임.
- 시료의 형태 : 제한 없음(분말, films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 시험온도 : $20 \sim 25 \pm 1^\circ\text{C}$, 또는 미생물원이나 대상 환경에 따른 적절한 온도
- 시험기간 : 생분해가 더 이상 진행되지 않는 때까지(최대 6개월 이내)

4.5 모사 퇴비화 조건에서 플라스틱의 붕괴도 평가법

1) 인용규격

ISO WI 708 파일럿 규모(pilot scale)의 제한된 퇴비화 조건에서 플라스틱 물질의 붕괴도 결정¹²
 ASTM D 5509-94 모사 퇴비환경에서 플라스틱 시료의 노출 실시 표준¹³

2) 개요

- 실제 퇴비화 과정을 최대한 모사한 시험방법으로 실험실이나 파일럿 규모의 퇴비화 반응기에

서 퇴비화가 진행될 때 시료의 붕괴정도를 결정하도록 고안됨.

- 플라스틱 시료는 도시고형 폐기물중의 유기성분이나 모사하고자 하는 폐기물과 유사한 성상의 원료와 혼합되어 퇴비화 과정을 거침.
- 퇴비화 과정을 모니터링하기 위해 온도, pH, 함수율, 배출 가스 성분 등을 추적하며 충분히 안정화된 퇴비가 얻어질 때까지(반응기내의 온도가 고온기를 거치고 상온에 도달한 후 이 상태로 약 2개월이 경과할 때까지) 지속함.
- 퇴비화 공정의 종료시 퇴비와 시료의 혼합물을 다양한 크기의 체로 쳐서 시료를 회수하고 시료의 붕괴 정도는 수작업으로 시료를 회수하여 평가함.
- 퇴비화 기간은 최소 약 12주 이상.

4.6 가속화 매립 조건에서 플라스틱의 혐기적 생분해도 평가법

1) 인용규격

ASTM D 5526 가속화된 매립 조건에서 플라스틱 물질의 혐기적 생분해도 평가법¹¹

2) 개요

- 호기적 분해로 전처리한 가정 폐기물과 플라스틱 시료의 혼합물을 가정 폐기물만을 처리하는 혐기적 소화조에서 얻은 메탄생성 미생물 접종원에 노출시켜 생분해 정도를 측정하는 가속화된 매립 시험방법임.
- 생분해는 매립조건을 반영하여 건조상태(총고형물 함량이 30% 이상)이며 교반하지 않는 조건에서 진행함.
- 조성은 가정폐기물, 미생물 접종원, 시료를 6 : 1 : 1 정도의 비율로 섞음
- 혐기적 미생물들이 가정폐기물과 시료를 이용하면서 발생하는 이산화탄소와 메탄을 정량하고 비교하여 생분해도를 결정함.
- 시료의 형태 : 제한 없음(분말, films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 시험온도 : $35 \pm 2^\circ\text{C}$
- 시험기간은 생분해 양상에 따라 결정하며 blank에서 gas가 더 이상 발생되지 않는 때까지 임.

4.7 모의 매립 조건에서 플라스틱의 붕괴도 평가법

1) 인용규격

ASTM D 5525-94 플라스틱을 모의 활성 매립 환경에 노출시키는 표준 실시법¹⁴

2) 개요

- 매립되는 폐기물의 대표적인 성분으로 모의 고품폐기물을 만들고 이들과 플라스틱 시료(시료, 표준시료, 비분해성 시료)를 함께 반응기에 채우고 혐기적 조건에서 배양하면서 시료의 붕괴를 검토함.
- 혐기적 배양을 촉진하기 위해 미생물 접종원을 만들어 투입하기도 하는데 발생하는 가스의 양과 조성으로부터 반응기 내의 미생물 활성 정도를 추정함.
- 반응기 하부에 수집되는 침출수의 pH를 측정 및 조절하고 재순환하여 미생물의 분해 활성을 촉진함.
- 시료의 형태 : 제한 없음(films, pieces, fragments, or shaped articles)
- 시험온도 : 35 ± 1 °C
- 시험기간 : gas 발생량이 0.1 L/kg waste/day 이하로 1주일간 지속되거나 전체 gas 생성량의 80% 이상 발생하였을 때
- 생분괴도 측정 : 회수된 시료 조각의 크기

4.8 퇴비화용, 매립지 매립용, 토양 매립용 생분해성 플라스틱의 평가-최종 확인을 위한 시험법

1) 인용규격

ISO CD 15986 플라스틱의 퇴비화 가능성의 평가-최종 확인을 위한 시험방안¹⁵

2) 개요

- 이 규격은 생분해성 고분자의 퇴비화용, 매립지 매립용, 토양 매립용을 결정하는 과정을 규정.
- 이 규격에서는 기본적으로 (1) 생분해성 (2) 유사 환경에서의 생물학적 작용에 의한 붕괴성의 두 가지 측면이 고려됨.

3) 내용

① 플라스틱 물질의 성격 규명

- 플라스틱 물질의 성분
- 중금속 등 유해물질 결정
- 플라스틱 물질의 유기 탄소 함량, 총 건조 고형물 및 휘발성 고형물량 (휘발성 고형물량은 총 고형물량의 50% 이상이어야 함)

② 최종 확인 절차

- 표 3~5에 나타난 과정으로 최종 확인 작업을 진행.

③ 실험실 생분해도 시험

- 생분해도 시험은 플라스틱 물질의 타고난, 그리고 궁극적인 생분해도에 관한 정보를 얻는다.

표 3. Flow Chart of the Test Scheme for Compostability

시료의 성격분석	- 성분 분석 - 유해성 물질 포함 여부 결정 - 유기탄소, 총고형물
실험실 생분해도 시험	- 조절된 퇴비화조건 시험 - 수용액상 이산화탄소 발생시험
붕괴성 시험	- 시작공장 규모(pilot-scale)에서 시험(우선적) - 퇴비화 공장 적용 시험
생물학적 처리에의 영향	- 붕괴성 시험시 관찰
퇴비의 품질	- 최종 퇴비에 대해 국제 또는 국가 표준이나 규정에서 요구하는 화학적, 생물학적 분석
시험 결과의 평가	- 시료의 유기탄소에 대한 물질수지

표 4. Flow Chart of the Test Scheme for Soil Biodegradability

시료의 성격분석	- 성분 분석 - 유해성 물질 포함 여부 결정 - 유기탄소, 총고형물
실험실 생분해도 시험	- 토양에서 호기적 조건 시험 - 수용액상 이산화탄소 발생시험
붕괴성 시험	- 실험실 토양 매립 시험(preferably) - 야외 토양 매립 시험
토양에의 영향	- 주변 토양에 대한 환경 독성학적 분석
시험 결과의 평가	- 시료의 유기탄소에 대한 물질수지

- 생분해도는 플라스틱 물질과 플라스틱 물질 속에 개별적으로는 1% 이상, 총량으로 5% 이상 함유된 성분들에 대해 모두 측정한다.
- 생분해도 시험은 실제 환경을 모사하는 방법을 우선적으로 실시하도록 권장한다. 예를 들어 퇴비화용은 퇴비화 조건에서의 생분해도 측정을 실시하도록 권장한다.
- 생분해도 시험의 표준시료는 유사한 구조를 가지고 시험 환경에서 생분해성이라고 이미 알려진 플라스틱 물질을 우선적으로 사용할 것을 권장한다.
- 시험기간은 생분해 양상에 따라 결정하는데 퇴

표 5. Flow Chart of the Test Scheme for Biodegradability in Landfill Environment

시료의 성격분석	- 성분 분석 - 유해성 물질 포함 여부 결정 - 유기탄소, 총고형물
실험실 생분해도 시험	- 혐기적 생분해도 시험 - 가속화 매립 시험 - 기타 생분해도 표준시험
붕괴성 시험	- 모의 매립 시험
침출수에의 영향	- 생분해도 시험시 침출수의 수질 분석
시험 결과의 평가	- 시료의 유기탄소에 대한 물질 수치

비화와 토양 환경용은 최대 6개월 이내로 한다. 매립지 환경용은 최대 1년으로 한다.

- 궁극적인 생분해도의 값에 따라 생분해 물질로 평가되기 위해서는 같은 환경조건에서 유사한 구조의 표준시료의 생분해도와 같거나 높은 최종 생분해도 값을 보여야 한다.
- 유사한 구조의 표준시료가 없거나 이 평가 기준을 만족하지 못할 경우에는 또 다른 평가기준으로 조성이 1% 이상인 성분들의 단량체를 가지고 같은 조건에서 생분해도를 측정하여 이론적인 최종 생분해도를 구하고 실제 측정에서 구한 생분해도와 이론치를 비교하여 결정한다.

④ 붕괴의 결정

- 붕괴는 플라스틱 물질이 실제 사용되는 형태를 기준으로 모사 환경조건에서 시험을 시작한다. 모사 환경조건은 실제 환경을 최대한 반영하여야 한다.
- 붕괴 시험은 시험상의 제약으로 생물학적 작용과 무생물적인 작용을 구분할 수는 없다. 그러나 붕괴 시험은 대상 환경 조건에서 시료의 붕괴가 일어나는 지를 알려준다.

⑤ 환경에의 영향

본 규격에서는 플라스틱의 생분해와 붕괴가 환경에 미치는 영향을 평가하는 환경독성학적 측면은 포함되어 있지는 않지만 최종 확인을 얻기 위해서는 시험 환경과 관련된 환경독성에 관한 다른 규격을 만족해야 한다.

5. 결 언

지금까지 우리 나라의 플라스틱의 생분해도 시험 방법 및 규격으로 제시된 안에 대해 살펴보았다. 우리 나라의 평가 방법은 미국이나 ISO의 규격을 바탕으로 측정법 7가지, 평가법 1가지 등 총 8개의 규격안이 퇴비화, 토양, 매립지 환경에서의 생분해도 측정 및 평가를 위해 마련되었다. 이 안들을 바탕으로 금년도에 실제적인 규격화 작업이 진행될 것이고 이 과정에서 다소간의 조정이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 신평균, "생분해성 고분자의 분해성 측정 및 평가방법 표준화 동향", vol. 10, p. 27-33, 생물산업, 1997.
2. 신평균, "환경친화성 생분해성 고분자의 규격 및 시험방법 개발", 환경부 G-7 프로젝트 제 3차년도 보고서 (1999).
3. ASTM D0883-92, "Standard definition of terms-degradable plastic, biodegradable plastic, photodegradable plastic, hydrolytically degradable plastic, oxidatively degradable plastic", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1992).
4. ISO/FDIS 14852, "Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in an aqueous medium-Method by analysis of released carbon dioxide", International Standard Organization.
5. ASTM D5209-92, "Standard test method for determining the aerobic biodegradation of plastic materials in the presence of municipal sewage sludge", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1992).
6. ISO/CD 14853, "Evaluation of the ultimate anaerobic biodegradation of plastic materials in an aqueous system-Method by analysis of carbon conversion to carbon dioxide and methane", International Standard Organization.
7. ASTM D5210-91, "Standard test method for determining the anaerobic biodegradation of plastic materials in the presence of municipal sewage sludge", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1991).
8. ISO/FDIS 14855, "Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability and disintegration of plastics under controlled composting conditions-Method by analysis of released carbon dioxide", International Standard Organization.
9. ASTM D5338-92, "Standard test method for deter-

- mining the aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1992).
10. ISO/WI 718, "Plastics-Determination of the ultimate aerobic biodegradability in soil by measuring the oxygen demand in a closed respirometer or the amount of carbon dioxide released", International Standard Organization.
 11. ASTM D 5526-94, "Test method for determining anaerobic biodegradation of plastic materials under accelerated landfill conditions", Annual Book of ASTM Standards, Vol.08.03. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1994).
 12. ISO/WI 708, "Evaluation of the disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot scale test", International Standard Organization.
 13. ASTM D5509-94, "Standard practice for exposing plastics to a simulated compost environment", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1994).
 14. ASTM D 5525-94a, "Standard practice for exposing plastics to a simulated active landfill environment", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA (1994).
 15. ISO / CD 15986, "Plastics-Evaluation of compostability-Test scheme for final acceptance", International Standard Organization.